

TANAH MERAH DARI BERBAGAI BAHAN INDUK DI INDONESIA: PROSPEK DAN STRATEGI PENGELOLAANNYA

*Red Soils from Various Parent Materials in Indonesia:
The Prospect and Their Management Strategic*

B.H. Prasetyo

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Ir. H. Juanda No. 98, Bogor 16123

ABSTRAK

Tanah merah mempunyai penyebaran yang luas, mencapai sekitar 50 juta ha, dan secara umum berpotensi untuk pengembangan pertanian di Indonesia. Tanah terbentuk dari berbagai bahan induk seperti bahan andesitik-basaltik, tufa masam, batuan kapur, batuan ultra mafik, batu liat dan batu pasir. Pada umumnya tanah ini sudah mengalami proses pelapukan pada tingkat lanjut, sehingga mineral pasirnya didominasi oleh mineral tahan lapuk seperti kuarsa, opak, dan mineral liatnya didominasi oleh mineral dengan muatan tergantung pH, seperti kaolinit yang disertai gipsit, goethit dan hematit. Tanah ini bereaksi sangat masam hingga agak alkali, dengan kandungan basa-basa dapat tukar rendah, kapasitas tukar kation bervariasi dari sangat rendah hingga tinggi, dan berkorelasi positif dengan C-organik dalam tanah. Tanah merah dalam klasifikasi tanah system Soil Taxonomy dapat diklasifikasikan sebagai ordo Inceptisols, Alfisols, Ultisols dan Oxisols. Karakterisasi tanah merah perlu dilakukan sebelum memanfaatkan tanah ini untuk usaha pertanian.

Kata kunci : Tanah merah, karakterisasi, klasifikasi

ABSTRACT

Distribution of red soils is about 50 million hectares, and generally potential for agricultural development in Indonesia. The soil was formed from various parent materials, such as andesitic-basaltic rock, acid tuff, limestone, ultra mafic rock, clay stone and sand stone. Generally the red soils were very developed soils, so that the sand mineralogy was dominated by minerals that resistant to weathering such as quartz and opaque. The clay mineral was dominated by variable charge minerals which depends on pH like kaolinite followed by gibbsite, goethite, and hematite. These soils have very acid to slightly alkaline reaction, low exchangeable bases, low to high cation exchange capacity, and positive correlation to organic-C in the soil. The red soils according to Soil Taxonomy system could be classified as Inceptisols, Alfisols, Ultisols, and Oxisols. Characterization of the red soils are needed before they are utilized for agriculture.

Keywords: Red soils, characterization, classification

Dalam upaya meningkatkan produksi tanaman pangan, pengetahuan mengenai tanah merah di Indonesia merupakan hal yang penting, karena tanah ini mempunyai penyebaran yang luasnya mencapai sekitar 50 juta ha (Driessen and Soepraptohardjo, 1974). Tanah merah adalah istilah untuk tanah-tanah Podsolik Merah Kuning, Latosols, Lateritik, dan Mediteran Merah Kuning (Soepraptohardjo, 1961). Tanah ini dapat dijumpai pada daerah berombak hingga pegunungan, dan dapat terbentuk dari bahan induk masam hingga basis.

Warna merah pada tanah disebabkan oleh kandungan mineral oksida besi. Walaupun

konsentrasinya hanya kecil, keberadaan oksida besi dalam tanah dapat mempengaruhi warna tanah (Schwertmann and Taylor, 1989). Di antara kelompok oksida besi, goethit, dan hematit merupakan dua jenis mineral oksida besi kristalin yang paling banyak dijumpai. Para peneliti sependapat bahwa warna merah dan kuning kemerahan dari tanah dipengaruhi oleh adanya mineral hematit dan goethit dalam tanah. Tanah dengan warna *hue* 10R hingga 5YR mengandung hematit dan tanah dengan *hue* antara 2,5YR hingga 7,5YR mengandung goethit (Eswaran and Sys, 1970). Hematit dapat menyebabkan warna merah pada tanah, sedangkan goethit menyebabkan warna

kecoklatan dan kekuningan (Schulze, 1989), coklat kekuningan hingga coklat (Allen and Hajek, 1989) dan kekuningan hingga coklat (Schwertmann and Taylor, 1989).

Pada umumnya komposisi mineral dan sifat-sifat kimia dari tanah merah di daerah tropika basah relatif sama. Mineral pasir didominasi oleh kuarsa dan opak, sedangkan mineral liat didominasi oleh kaolinit dengan tambahan mineral gipsit, goethit dan hematit. Kadang-kadang dijumpai pula mineral smektit dalam jumlah sedikit (Bennema, 1967; Uehara and Gillman, 1981; Subagyo *et al.*, 1986; Fauzi *et al.*, 1987).

Kesuburan alami tanah merah pada umumnya tergantung hanya pada horizon A, dan seringkali berhubungan dengan kandungan bahan organiknya. Unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor dan kalium sering terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit dan kurang mencukupi untuk kebutuhan tanaman. Penggunaan pupuk dapat menjadi tidak efisien karena retensi P yang sangat tinggi dan rendahnya kapasitas tukar kation efektif dari tanah merah (Uehara and Gillman, 1981; Chien, 1990).

Tanah merah di daerah tropika basah pada awalnya mungkin kaya akan kandungan hara yang diperlukan oleh tanaman, namun dengan berjalannya waktu dan pengaruh musim kering dan musim basah yang bergantian, unsur hara akan tercuci. Mineral liat dengan muatan permanen dengan KTK tinggi yang mampu mengikat kation telah habis melapuk dan tanah menjadi bermuatan variabel dengan KTK rendah dan bereaksi masam.

Kekurangan unsur P merupakan masalah utama pada tanah merah di daerah tropika basah (Sanchez, 1976; Uehara and Gillman, 1981). Kekurangan P ini dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama adalah bahan induk tanah miskin kandungan P dan kedua adalah P yang ada

terikat oleh elemen-elemen lain dalam tanah seperti Fe, Al ataupun Ca, sehingga menjadi tidak tersedia untuk tanaman.

Tulisan ini akan mengulas sifat-sifat tanah merah dari berbagai bahan induk yang pernah dijumpai di Indonesia, prospek penggunaan untuk pertanian dan strategi pengelolaannya.

KOMPOSISI MINERAL

Komposisi mineral fraksi pasir dari tanah merah umumnya dipengaruhi oleh bahan induk dan tingkat perkembangan tanahnya (Tabel 1). Tanah merah Rhodic Kandudults dan Typic Hapludox dari bahan vulkan andesitik di dominasi oleh mineral opak (>80%), dengan sedikit kuarsa dan sangat sedikit mineral mudah lapuk (Prasetyo *et al.*, 2005; Fauzi *et al.*, 2004). Kedua jenis tanah merah ini sudah mempunyai perkembangan yang sangat lanjut, yang dicirikan oleh adanya horizon kandik dan horizon oksik dengan nilai kapasitas tukar kation liat <16 cmol_c/kg. Dominasi mineral opak juga ditunjukkan oleh tanah merah dari bahan ultra basik yang diklasifikasikan sebagai Anionic Acrudox di daerah Kalimantan Selatan (Prasetyo dan Suharta, 2004), kandungan mineral opaknya mencapai lebih dari 80%, sisanya adalah kuarsa dan lapukan mineral. Tanah ini juga mempunyai tingkat perkembangan lanjut sehingga mineral pasirnya didominasi oleh mineral tahan lapuk opak.

Tanah merah dari batuan sedimen pasir di daerah Jawa Tengah, mineral pasirnya didominasi oleh mineral kuarsa dengan kisaran 44-66%, mineral mudah lapuk sanidin dengan kisaran 10-20% dan mineral mudah lapuk lainnya seperti orthoklas, hiperstin dengan jumlah <5% (Fauzi *et al.*, 1987). Tanah merah ini masih tergolong pada tingkat perkembangan awal, diklasifikasikan sebagai Typic Eutrudepts, kandungan mineral mudah lapuk secara keseluruhan masih tinggi.

Tabel 1. Komposisi mineral fraksi pasir tanah merah dari berbagai bahan induk

Kedalaman cm	Op	Zr	Ku	Kb	Lp	Fb	Or	Bi	Ep	An	Ol	Sn	Am	Au	Hp
%															
Pedon 1. Typic Eutrudepts dari batu pasir (Fauzi <i>et al.</i> , 1987)															
0 - 10	10	15	55	-	2	2	6	-	3	3	-	8	2	-	-
10 - 28	9	5	59	-	1	2	5	-	3	3	-	10	-	-	-
28 - 50	9	6	55	-	1	1	6	-	3	4	-	13	-	-	-
50 - 75	7	7	55	-	1	1	3	-	3	4	-	13	-	-	-
75 - 120	10	7	48	-	2	-	5	2	4	3	-	11	-	-	-
120 - 150	8	5	46	-	3	1	10	2	1	3	-	15	-	-	-
Pedon 2. Typic Kandiuults, dari batu tufa masam (Subardja, 1986)															
0 - 13	25	8	46	-	1	2	-	-	-	2	2	2	2	2	-
13 - 37	31	9	49	-	-	3	-	-	1	-	1	1	1	3	3
37 - 65	32	7	47	-	1	5	-	-	3	-	1	-	-	3	3
65 - 150	34	10	49	-	-	2	-	-	2	-	1	-	-	2	2
Pedon 3. Oxic Dystrudepts dari batu liat (Prasetyo dan Suharta, 2004)															
0 - 18	5	-	42	1	2	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 - 40	5	-	52	1	1	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 73	5	-	46	2	2	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73 - 101	4	-	33	4	3	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
101 - 140	2	-	35	2	2	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhodic Kandiuults, dari batu vulkan andesitik (Prasetyo <i>et al.</i> , 2005)															
0 - 22	88	-	1	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 53	96	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53 - 81	86	-	3	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
81 - 109	89	-	1	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhodic Eustrtox dari batu kapur (Suryani <i>et al.</i> , 2000)															
0 - 23	4	1	94	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
23 - 49	1	1	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49 - 91	1	1	97	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
91 - 134	2	-	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
134 - 180	7	1	91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anionic Acrudox dari batuan ultra mafik (Prasetyo dan Suharta, 2004)															
0 - 11	74	-	22	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 - 40	86	-	8	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 65	87	-	8	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65 - 96	89	-	7	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96 - 150	91	-	5	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan: Op = opak, Zr = zirkon, Ku = kuarsa, Kb = konkresi besi, Lp = lapukan, Fb = fragmen batuan, Or = orthoklas, Bi = biotit, Ep = epidot, Gv = gelas vulkan, Ol = oligosin, Sn = sanidin, Am = amfibol, Au = augit, Hp = hiperstin

Tabel 2. Komposisi mineral fraksi liat tanah merah dari berbagai bahan induk

Kedalaman	Kaolinit	Gibsit	Hematite	Goetit	Magnetit	Illit	Smektit	Vermikulit
Anionic Acrudox dari Ultra mafik (Prasetyo dan Suharta, 2004)								
0 - 11		+	+	++	++			
40 - 65		+	+	++	++			
96 - 150		+	+	++	++			
Rhodic Kandudults dari vulkan andesitik (Prasetyo <i>et al.</i> , 2005)								
0 - 22	++++							
53 - 81	++++							
Rhodic Eustrustox dari batu kapur (Suryani <i>et al.</i> , 2000)								
0 - 23	++++			(+)				
49 - 91	++++			(+)				
134 - 180	++++			(+)				
Typic Eutrudepts dari batu pasir (Fauzi <i>et al.</i> , 1987)								
0 - 10	+++					+	(+)	
28 - 50	+++					+	(+)	
75 - 120	+++					+	(+)	
Typix Hapludox dari bahan tufa masam (Prasetyo <i>et al.</i> , 1996)								
0 - 14	++++			+				
45 - 68	++++			+				
90 - 105	++++			+				
Oxic Dystrudepts dari batu liat (Prasetyo dan Suharta, 2004)								
0 - 18	++++		++	++	+			+
40 - 73	++++		++	++	+			+
101 - 140	++++		++	++	+			+
Typic Eutropepts dari batu kapur (Subagyo <i>et al.</i> , 1986)								
0 - 17	+++						+	
40 - 71	+++						+	
71 - 108	+++						+	

Keterangan : + + + + = dominan, + + + = banyak, + + sedang, + = sedikit, (+) = sangat sedikit

Tanah merah dari batu kapur yang diklasifikasikan sebagai Rhodic Eustrustox di daerah Jawa Timur mineral pasirnya didominasi oleh kuarsa yang kandungannya mencapai 75-97% dan opak sekitar 15% (Suryani *et al.*, 2000). Penelitian lainnya pada kandungan mineral pasir dari tanah-tanah merah yang diklasifikasikan sebagai Rhodudalfts, Paleudults dan Eutrudepts di daerah Tuban menunjukkan bahwa tanah merah dari batu kapur didominasi oleh asosiasi mineral opak dan kuarsa (Subagyo *et al.*, 1986). Di daerah Timor Barat dilaporkan bahwa tanah merah dari bahan kapur didominasi oleh mineral kuarsa dengan sangat sedikit mineral mudah lapuk orthoklas, augit dan sanidin (Sosiawan *et al.*, 2000).

Batu kapur sebetulnya adalah batuan karbonatan, pada kondisi yang masih segar mineralnya didominasi oleh kalsit dan dolomit. Setelah proses pelapukan batuan dan pembentukan tanah, baik mineral kalsit maupun dolomit akan habis melapuk, dan pada saat tingkat pelapukan tanah sudah lanjut yang tertinggal hanyalah mineral tahan lapuk kuarsa dan opak. Terdapatnya mineral kuarsa maupun opak dalam tanah yang berbahan induk batu kapur terjadi pada waktu pembentukan batu kapur, sehingga prosesnya merupakan proses *geogenic* bukan *pedogenic*.

Tanah merah dari batuan tufa masam mineral pasirnya didominasi oleh asosiasi mineral opak dan kuarsa dengan kandungan mineral

mudah lapuk yang tergolong sangat sedikit (Subarja, 1986; Prasetyo *et al.*, 1996; Prasetyo *et al.*, 1997; Prasetyo *et al.*, 1998; Prasetyo, 2006). Asosiasi mineral opak dan kuarsa merupakan ciri utama dari mineral pasir pada tanah merah dari batuan tufa masam.

Dari komposisi mineral fraksi pasir terlihat bahwa jenis mineral pasir yang umum mendominasi tanah merah adalah opak dan kuarsa. Kedua jenis mineral ini tergolong pada mineral pasir yang tahan terhadap pelapukan. Mineral opak umumnya mendominasi tanah merah dari bahan vulkan andesitik-basaltik, sedangkan mineral kuarsa mendominasi tanah merah dari bahan vulkan masam (dasit), sedimen (batu pasir) atau batu kapur. Namun terdapat juga tanah merah yang didominasi oleh asosiasi mineral opak dan kuarsa, seperti tanah merah dari bahan tufa masam.

Komposisi mineral liat tanah merah umumnya didominasi oleh mineral liat kaolinit. Mineral kaolinit umumnya terbentuk pada lingkungan yang pencucian basa-basanya intensif, reaksi tanah masam, dengan drainase tanah yang relatif baik (Tardy *et al.*, 1973; van Wambeke, 1992). Tanah yang didominasi oleh mineral liat jenis kaolinit akan mempunyai muatan negatif yang rendah (KTK rendah) karena substitusi isomorfik pada jenis mineral ini hampir tidak pernah terjadi. Dominasi mineral kaolinit juga mengindikasikan suatu keadaan tingkat pelapukan dan pencucian basa-basa yang tinggi dengan lingkungan yang bereaksi masam dan drainase baik.

Mineral liat lainnya yang banyak dijumpai pada tanah merah dalam jumlah yang tidak terlalu banyak adalah mineral oksida besi jenis goethit dan hematit (Prasetyo dan Suharta, 2004; Suryani *et al.*, 2000). Mineral oksida besi adalah jenis mineral oksida yang paling banyak dijumpai dalam tanah, dan terbentuk dari Fe yang dilepaskan oleh mineral primer selama proses pelapukan. Mineral ini dapat dijumpai dalam keadaan terdistribusi diseluruh horison tanah, terkonsentrasi pada salah satu horison tanah, ataupun hanya pada karatan, dan nodul.

Konsep dasar pembentukan oksida besi dalam hubungannya dengan tingkat pembentukan tanah sudah lama diteliti oleh Tavernier dan Eswaran (1973). Oksida besi amorf terbentuk pada tingkat pembentukan tanah entik. Dengan meningkatnya perkembangan tanah pada tingkat kambik dan argilik, oksida besi kristalin mulai terbentuk walaupun masih didominasi oleh oksida besi amorf. Peningkatan tingkat perkembangan tanah menjadi oksik menyebabkan kandungan besi bebas mencapai tingkat maksimum dan membentuk oksida besi kristalin seperti goethit dan hematit.

Gibsit adalah jenis mineral liat yang juga sering dijumpai pada tanah merah, merupakan mineral akhir dalam arti terbentuk setelah proses-proses pelapukan yang sangat lanjut. Terdapatnya gibsit bersama-sama goethit dan hematit pada tanah merah mengindikasikan bahwa tanah merah tersebut telah mencapai tingkat pelapukan sangat lanjut. Kombinasi susunan mineral yang umum dijumpai pada tanah merah dengan pelapukan sangat lanjut adalah kaolinit, oksida besi (goethit dan hematit), gibsit, kuarsa, dan opak.

Pada tanah merah juga masih sering dijumpai adanya mineral smektit ataupun vermikulit. Mineral smektit yang terdapat pada tanah merah dijumpai pada tanah Eutrudepts (Subagyo *et al.*, 1986; Fauzi *et al.*, 1987), pada tanah dari bahan batu kapur dan batu pasir. Terdapatnya mineral smektit di sini masih berpengaruh pada muatan tanah, sehingga nilai KTK liat pada tanah merah ini masih tergolong tinggi (>24 cmol/kg). Mineral vermikulit juga dilaporkan dijumpai pada tanah merah dari bahan batu liat yang di klasifikasikan sebagai Dystrudepts. Keberadaan vermikulit pada tanah merah ini juga memberi pengaruh pada muatannya, sehingga walaupun basa-basa dapat dipertukarkan sangat rendah (<1 cmol/kg) dan kejenuhan aluminiumnya sangat tinggi ($>90\%$) tanah merah ini masih mempunyai KTK liat sedang (Prasetyo dan Suharta, 2004). Ada kemungkinan bahwa smektit dan vermikulit pada tanah merah terbentuk melalui sekuen pelapukan sebagai berikut:

Mika → Illit → (bila pH masam) → Vermikulit → Kaolinit, atau

Mika → Illit → (bila pH basis) → Smektit → Kaolinit

SIFAT FISIKA DAN KIMIA

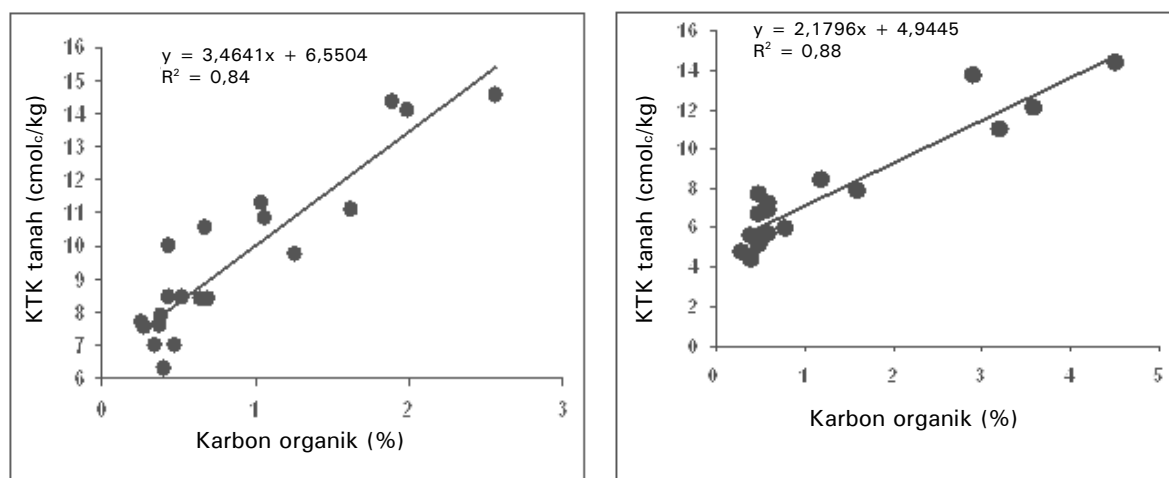
Tanah merah umumnya mempunyai sifat fisik yang baik untuk pertumbuhan akar tanaman. Solum tanah dalam, gembur, dan drainase yang baik sangat mendukung pertumbuhan akar tanaman walaupun lapisan atasnya kadang-kadang mempunyai struktur yang lepas sehingga mudah tererosi.

Tanah merah dapat mempunyai tekstur liat, dan tergolong pada liat berat dengan kandungan fraksi liat >60%, hingga lempung berpasir dengan kandungan fraksi pasir <60%.

Bahan induk tanah memegang peran penting pada tekstur tanah merah. Tanah merah yang terbentuk dari bahan vulkan andesitik-basaltik dan bahan batu kapur akan cenderung mempunyai kandungan fraksi liat yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh komposisi awal mineral dari bahan induk tersebut yang kaya akan mineral mudah lapuk, sehingga ketika tanah berkembang menjadi tanah merah, mineral mudah lapuk tersebut sudah melapuk dari fraksi pasir ke fraksi liat. Sebaliknya, tanah merah yang mempunyai bahan induk bersifat masam seperti batuan sedimen pasir, batuan beku granit ataupun batuan tufa, akan cenderung mempunyai kandungan fraksi pasir yang tinggi, karena batuan tersebut didominasi oleh mineral yang tahan terhadap pelapukan seperti kuarsa dan opak, sehingga bila pelapukan berlanjut mineral tahan lapuk kuarsa dan opak yang tersisa pada fraksi pasirnya.

Tabel 3. Beberapa sifat kimia tanah merah dari berbagai bahan induk

Kedalaman	Karbon organik	Tekstur			pH H ₂ O	Kejenuhan basa	KTK tanah	KTK liat	Fe ₂ O ₃	Kej. Al
		Pasir	Debu	Liat						
		%				% cmolc/kg %
Oxic Dystrudepts dari batu liat (Prasetyo dan Suharta, 2004)										
0 - 18	1,4	8	22	70	4,0	7	14,8	21,1	5,72	88
18 - 40	0,89	8	10	82	4,0	6	15,1	18,4	5,40	90
40 - 73	0,74	7	22	71	4,0	6	14,4	20,3	5,71	90
73 - 101	0,58	7	22	71	3,9	4	15,3	21,5	6,24	93
Typic Eutrudepts dari batu kapur (Subagyo <i>et al.</i> , 1986)										
0 - 17	1,02	1	25	74	8,1	100	31,0	41,8	2,25	0
17 - 40	1,04	1	15	84	7,8	97	31,0	36,7	2,20	0
40 - 71	1,01	1	27	72	7,1	87	30,3	38,1	6,82	0
71 - 108	0,65	1	20	79	6,9	85	27,4	33,4	7,59	0
Oxic Dystrudepts dari Ultra mafik (Prasetyo dan Suharta (2004)										
0 - 16	3,21	8	26	66	6,3	47	23,0	34,9	6,47	10
16 - 64	0,79	5	22	73	5,2	15	14,2	19,5	6,70	79
64 - 112	0,49	11	6	83	5,2	7	16,7	20,2	7,27	87
112 - 148	0,31	5	11	84	5,1	7	17,9	21,3	5,82	88
Rhodic Kandudults dari tufa masam (Subardja, 1986)										
0 - 19	1,89	13	21	66	5,3	28	14,8	10,9	3,45	16
19 - 42	1,41	10	11	79	5,4	28	14,3	11,1	3,71	17
42 - 70	0,80	7	8	85	5,3	26	10,2	8,2	4,53	34
70 - 99	0,49	6	7	87	5,3	15	10,5	9,8	4,12	58
99 - 120	0,38	5	4	91	5,4	12	9,9	9,2	4,16	65
120 - 150	0,27	6	10	84	5,3	8	8,8	10,3	3,94	79
Typic Rhodudults dari bahan andesitik (Subagyo <i>et al.</i> , 1987)										
0 - 19	1,96	6	25	69	5,2	43	24,2	34,8	7,50	1
19 - 43	0,84	9	12	85	5,0	33	22,7	26,7	8,53	11
43 - 75	0,70	3	17	80	5,1	31	27,4	34,2	7,68	9
75 - 112	0,87	2	27	71	5,0	31	34,4	34,4	8,75	10



Sumber: Alkasuma, 1994 (kiri) dan Prasetyo *et al.*, 1996 (kanan)

Gambar 1. Hubungan antara KTK tanah dengan karbon organik pada tanah merah di daerah Kalbar (kiri) dan tanah merah di daerah Lampung (kanan)

Reaksi tanah merah mempunyai kisaran yang sangat lebar, dari agak basa hingga sangat masam. Tidak selalu tanah merah yang terbentuk dari bahan induk yang sifatnya masam akan mempunyai reaksi tanah sangat masam hingga masam, dan tanah merah yang berbahan induk intermedier hingga basis mempunyai reaksi tanah yang agak masam hingga netral. Kemasaman tanah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain bahan induk tanah, reaksi oksidasi terhadap mineral tertentu, bahan organik, dan tingkat perkembangan tanah. Tanah merah dari bahan ultra basic di Kalimantan Selatan yang diklasifikasikan sebagai Oksic Dystrudepts mempunyai reaksi tanah sangat masam hingga masam dengan pH 4,29-4,71 dan yang diklasifikasikan sebagai Anionic Acrudox mempunyai reaksi tanah masam hingga agak masam dengan pH 5,05-6,30 (Prasetyo dan Suharta, 2004; Rachim *et al.*, 1997). Tanah merah dari bahan batu kapur yang diklasifikasikan sebagai Typic Eutrudepts mempunyai pH 6,8-8,1, yang diklasifikasikan sebagai Rhodic Eustrustox mempunyai pH 4,8-6,3 dan yang diklasifikasikan sebagai Anionic Acrudox mempunyai pH 4,8-5,2. (Subagyo *et al.*, 1986; Suryani *et al.*, 2000; Prasetyo dan Suharta, 2004).

Basa-basa dapat dipertukarkan pada tanah merah dapat dipengaruhi oleh beberapa hal,

antara lain bahan induk tanah, kadungan mineral liat dan tingkat perkembangan tanah. Walaupun klasifikasi tanah masih Dystrudepts, tetapi karena proses pencucian basa-basanya termasuk intensif, tanah dapat saja mempunyai kandungan basa-basa dapat dipertukarkan yang tergolong sangat rendah. Tanah merah dari batu liat yang didominasi oleh kaolinit (Oxic Dystrudepts) mempunyai jumlah basa-basa dapat dipertukarkan yang tergolong sangat rendah (<1 cmol_c/kg), sedangkan tanah merah dari batu kapur yang mineralnya tersusun dari campuran kaolinit dan smektit (Typic Eutrudepts) mempunyai kandungan basa-basa dapat dipertukarkan yang tergolong sangat tinggi (>23 cmol_c/kg) walaupun sebetulnya yang konsentrasinya sangat tinggi hanyalah Ca.

Kapasitas tukar kation dari tanah merah menunjukkan nilai yang cukup bervariasi, mulai dari rendah (<16 cmol_c/kg) hingga tinggi (24-40 cmol_c/kg). Namun demikian secara umum adanya pengaruh kandungan mineral liat, bahan organik, dan tingkat perkembangan tanah mempengaruhi nilai kapasitas tukar kation (Gambar 1). Dua tanah merah dari bahan batu liat dan batuan ultra mafik yang mineral liatnya didominasi kaolinit dan sama-sama diklasifikasikan sebagai Oxic Dystrudepts menunjukkan nilai kapasitas tukar kation yang relatif sama. Tanah dari batu kapur yang mineral liatnya campuran antara

kaolinit dan smektit dan diklasifikasikan sebagai Typic Eutrudepts dengan tanah merah dari batuan andesitik yang didominasi oleh mineral haloisit dan diklasifikasikan sebagai Typic Rhodudults juga menunjukkan nilai kapasitas tukar kation yang relatif sama.

Kandungan besi bebas pada tanah merah bervariasi, berkisar dari 2-8%. Penelitian-penelitian mengenai warna merah pada tanah merah menunjukkan bahwa yang berpengaruh terhadap warna tanah adalah kandungan atau jenis mineral oksida seperti goethit dan hematit. Semakin tinggi kandungan mineral hematit akan semakin merah warna tanah yang bersangkutan, sedangkan semakin tinggi kandungan mineral goethit maka warna tanahnya akan semakin coklat kekuningan.

Kejenuhan aluminium tanah merah pada umumnya berhubungan dengan pH tanahnya. Semakin masam tanah maka akan semakin tinggi nilai kejenuhan aluminium. Pada umumnya

kejenuhan aluminium akan lebih tinggi pada tanah dari bahan sedimen (batu liat, batu pasir) di bandingkan dengan tanah dari bahan vulkan, seperti andesit, basaltik (Prasetyo, 2007).

KLASIFIKASI TANAH

Tanah merah pada sistem klasifikasi lama diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kuning, Mediteran Merah Kuning, Latosols, dan Lateritik (Soepraptohardjo, 1961). Tabel 4 menyajikan klasifikasi tanah merah yang pernah ditemukan di Indonesia mengikuti perkembangan sistem klasifikasi tanah Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975; 1994; 1996; 1998) yang pernah berlaku dan yang masih berlaku. Terlihat bahwa bahan induk tanah mulai dari yang bersifat ultra mafik hingga masam dapat membentuk tanah merah, apalagi bila ditunjang oleh kondisi bahan yang kaya akan sumber Fe (mineral-mineral ferromagnesian), drainase baik, dan memungkinkan

Tabel 4. Klasifikasi tanah merah yang pernah ditemukan di Indonesia

Bahan induk tanah	Soil taxonomy	Pustaka
Batu kapur	Typic Rhodudalfs (1975) Tropetric Etrorthox (1975) Typic Eutropepts (1975)	Subagyo <i>et al.</i> , 1986
Batuan tufa masam	Typic Paleudults (1975) Rhodic Paleudults (1975)	Subardja, 1986
Batu Pasir	Typic Eutropepts (1975)	Fauzi <i>et al.</i> , 1987
Batuan vulkan andesit	Typic Rhodudults (1975)	Subagyo <i>et al.</i> , 1987
Batuan basaltik	Anionic Acroperox (1994) Humic Acroperox (1994) Typic Acroperox (1994)	Suharta <i>et al.</i> , 1995
Tufa masam	Petroferric Hapludox (1996) Typic Hapludox (1996) Typic Kandiodox (1996)	Prasetyo <i>et al.</i> , 1996 Prasetyo <i>et al.</i> , 1997
Batuan ultra mafik	Typic Eutorthox (1996) Typic Haplorthox (1996) Typic Acrorthox (1996)	Asmin <i>et al.</i> , 1998
Batu kapur	Rhodic Eutrusthox (1998) Kandic Paleustalfs (1998) Kanhaplic Haplustalfs (1998)	Suryani <i>et al.</i> , 2000
Batuan ultra mafik	Anionic Acrudox, Rhodic Hapludox, (1998)	Hidayat, 2002
Batu liat	Oxic Dystrudepts (1998)	Prasetyo dan Suharta, 2004
Batuan ultra mafik	Anionic Acrudox (1998)	
Batu kapur	Typic Kandiodox (1998)	
Batuan vulkan andesitik	Rhodic Kandiodults (1998)	Prasetyo <i>et al.</i> , 2005

pembentukan mineral oksida besi (goethit dan hematit).

Tabel 4 menunjukkan bahwa tanah merah di Indonesia dapat digolongkan pada empat ordo tanah, yaitu ordo Inceptisols (Typic Eutropepts, Oxic Dystrudepts), Alfisols (Typic Rhodudalfs, Kandic Paleustalfs, Kanhaplic Haplustalfs), Ultisols (Typic Paleudults, Rhodic Paleudults, Typic Rhodudults, Rhodic Kandudults), dan Oxisols (Tropoctic Eutrorthox, Anionic Acroperox, Humic Acroperox, Typic Acroperox, Petroferric Hapludox, Typic Hapludox, Typic Eutorthox, Typic Haplorthox, Typic Acrorthox, Rhodic Eutrorthox, Anionic Acrudox, Typic Kandudox).

Keempat ordo tanah tersebut mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda satu sama lain, sehingga tidak semua tanah yang disebut sebagai tanah merah akan mempunyai sifat dan karakteristik yang sama. Perkembangan dan tingkat pelapukan tanah meningkat dari Inceptisols → Alfisols → Ultisols → Oxisols. Apabila ordo tanah Oxisols yang paling sering dijumpai dapat dimengerti karena pada umumnya tanah merah telah mengalami pelapukan lanjut.

KESESUAIAN LAHAN TANAH MERAH UNTUK BEBERAPA KOMODITAS TANAMAN TAHUNAN

Beberapa persyaratan kesesuaian lahan yang berhubungan dengan sifat fisik dan kimia tanah untuk tanaman tahunan (sawit, kakao dan tebu) disajikan pada Tabel 5. Bila dilihat dari sifat fisik tanah merah yang pada umumnya berdrainase baik dan mempunyai tekstur halus, terlihat bahwa secara fisik tanah-tanah merah memenuhi persyaratan untuk tanaman tahunan semacam kelapa sawit, kakao dan tebu. KTK liat pada umumnya >16 cmol_c, sehingga tergolong sesuai untuk tanaman tersebut, hanya tanah merah yang berasal dari bahan masam (tufa masam) dengan horizon kandik menunjukkan nilai KTK liat <16 sehingga merupakan faktor penghambat. Karbon organik dari tanah merah di kedalaman 0-50 cm berkisar dari 0,79-3,21%

secara umum memenuhi persyaratan. pH tanah merah umumnya >4 , akan tetapi beberapa diantaranya mempunyai pH $<4,2$ yang merupakan faktor penghambat. Kejenuhan basa pada tanah merah mulai dari 7 hingga 100%, pada beberapa tanah merah kejenuhan basanya $<20\%$ sehingga juga merupakan penghambat dalam kriteria kesesuaian lahan.

Berdasarkan evaluasi sifat fisik dan kimia tanah merah, dibandingkan dengan sifat fisik dan kimia dari persyaratan penggunaan lahan (Djaenudin *et al.*, 2003) maka dapat disimpulkan bahwa tanah merah tergolong tanah yang sesuai untuk pengembangan tanaman tahunan seperti sawit, kakao, dan tebu. Faktor penghambat yang ada diantaranya adalah retensi hara yang berupa KTK liat, kejenuhan basa, dan pH tanah akan dapat diatasi dengan pemupukan. Hanya masalah lokasi yang nantinya akan berhubungan dengan suhu dan ketersediaan air tanah yang akan menentukan potensi tanah merah tersebut.

PROSPEK, KENDALA, DAN STRATEGI PENGELOLAAN TANAH MERAH

Prospek dan kendala

Di antara tanah merah di Indonesia, tanah yang diklasifikasikan sebagai podsolik yang paling luas penyebarannya mencapai 49 juta ha, disusul oleh tanah Latosols, sekitar 5 juta ha (Biro Pusat Statistik, 1987; Driessen and Soepraptohardjo, 1974; Driessen *et al.*, 1976). Sebaran tanah merah di Indonesia menurut Soepraptohardjo dan Ismangun (1980) disajikan pada Gambar 2.

Sifat fisik tanah merah umumnya bagus untuk pertumbuhan akar tanaman. Solum tanah yang dalam, gembur dan drainase tanah yang baik sangat menunjang pertumbuhan akar tanaman. Tanah ini merupakan tanah yang sangat berpotensi untuk pengembangan areal pertanian, terutama tanaman perkebunan seperti kelapa sawit, karet ataupun hutan tanaman industri dan tanaman pangan seperti jagung, kedelai, dan ketela.

Tabel 5. Kriteria kesesuaian lahan (fisika dan kimia) untuk tanaman tahunan kelapa sawit, kakao, dan tebu

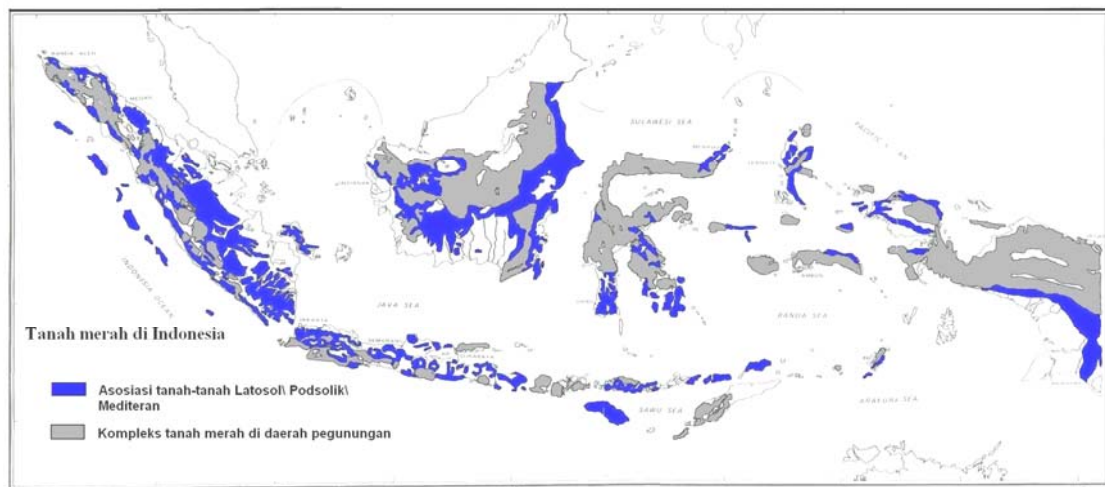
Persyaratan penggunaan/ Karakterisasi lahan	Kelas kesesuaian lahan			
	S1	S2	S3	N
<i>Kelapa sawit</i>				
Ketersediaan oksigen :				
Drainase	Baik, sedang	Agak terhambat	Terhambat, agak cepat	Sangat terhambat, cepat
Media perakaran :				
Tekstur	Halus, agak halus, sedang	-	Agak kasar	Kasar
Retensi hara :				
CTC liat (cmol _c)	> 16	≤ 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 20	≤ 20	-	-
pH H ₂ O	5,0 - 6,5	4,2 - 5,0	< 4,2	-
		6,5 - 7,0	> 7,0	-
Karbon organik (%)	> 0,8	≤ 0,8	-	-
<i>Kakao</i>				
Ketersediaan oksigen :				
Drainase	Baik, sedang	Agak terhambat	Terhambat, agak cepat	Sangat terhambat, cepat
Media perakaran :				
Tekstur	Halus, agak halus, sedang	-	Agak kasar, sangat halus	Kasar
Retensi hara :				
CTC liat (cmol _c)	> 16	≤ 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 35	20 - 35	< 20	-
pH H ₂ O	6,0 - 7,0	5,5 - 6,0	< 4,2	-
		7,0 - 7,6	> 7,0	-
Karbon organik (%)	> 1,5	0,8 - 1,5	< 0,8	-
<i>Tebu</i>				
Ketersediaan oksigen :				
Drainase	Baik, sedang	Agak terhambat	Terhambat, agak cepat	Sangat terhambat, cepat
Media perakaran :				
Tekstur	Halus, agak halus, sedang	-	Agak kasar	Kasar
Retensi hara :				
CTC liat (cmol _c)	> 16	≤ 16	-	-
Kejenuhan basa (%)	> 50	35 - 50	< 35	-
pH H ₂ O	5,5 - 7,5	5,0 - 5,5	< 5,0	-
		7,5 - 8,0	> 8,0	-
Karbon organik	> 0,4	≤ 0,4	-	-

Sumber: Djaenudin *et al*, 2003

Tidak semua tanah merah bersifat masam, tanah merah masam dengan pH < 5,5 umumnya berasal dari bahan batuan sedimen, seperti batu pasir dan batu liat, sedangkan tanah merah yang dari bahan vulkan ataupun bahan berkapur umumnya mempunyai mempunyai pH > 5,5.

Kesuburan alami dari tanah merah pada umumnya terbatas pada horizon A, dan

terutama berhubungan dengan kandungan bahan organiknya. Kandungan hara utama seperti nitrogen, fosfor dan kalium sangat rendah. Pemakaian pupuk sering tidak efisien karena tingginya fiksasi P dan rendahnya kapasitas tukar kation tanah. Kekurangan P pada tanah merah dapat disebabkan oleh bahan induk tanah yang tidak mengandung sumber P ataupun P



Gambar 2. Sebaran tanah merah di Indonesia

(Sumber: Soepraptohardjo dan Ismangun, 1980)

yang tersedia difiksasi oleh unsur-unsur Al dan Fe dalam tanah menjadi senyawa Al-P dan Fe-P sehingga tidak tersedia untuk tanaman.

Tanah merah Ultisols dicirikan oleh adanya akumulasi liat (horizon argilik) pada horizon bawah permukaan, yang dapat mengurangi daya resap air dan meningkatkan aliran permukaan dan erosi tanah. Selain itu, Ultisols dari bahan vulkan intermedier hingga basis umumnya mempunyai kandungan liat yang tinggi yang dihasilkan dari pelapukan mineral mudah lapuk. Tingginya kandungan fraksi liat ini menyebabkan tanah menjadi sangat lekat, sulit diolah, permiabilitas menurun dan aliran permukaan meningkat.

Erosi merupakan salah satu kendala fisik pada tanah merah, dan dapat sangat merugikan karena mengurangi kesuburan tanah. Kesuburan tanah sering kali hanya ditentukan oleh bahan organik tanah di lapisan atas, bila lapisan ini tererosi maka tanah akan sangat miskin kandungan haranya.

Strategi pengelolaan

Untuk dapat memanfaatkan tanah merah secara maksimal, identifikasi dan karakterisasi tanah perlu dilakukan terlebih dahulu agar dapat diketahui tanah merah yang bagaimana yang

akan digunakan. Tanah merah yang dapat dikatakan lebih berpotensi adalah yang terbentuk dari bahan vulkan atau bahan berkapur, dengan kisaran pH masam hingga agak masam, dan mempunyai kapasitas tukar kation yang tergolong sedang hingga tinggi (>16 cmol_c/kg). Yang termasuk dalam kriteria ini adalah tanah merah yang termasuk dalam ordo Inceptisols (Eutrudepts, Dystrudepts), Alfisols (Hapludalfs, Paleustalfs), dan sebagian Ultisols (Hapludults, Rhodudults).

Tanah merah yang potensinya lebih rendah adalah yang terbentuk dari bahan sedimen, tufa masam, ultra mafik atau vulkan masam, karena pada umumnya tanah ini bereaksi masam hingga sangat masam, dan mempunyai kapasitas tukar kation rendah (<16 cmol_c/kg). Yang termasuk dalam kriteria ini adalah tanah merah yang termasuk dalam ordo Oxisols (Acrudox, Hapludox), dan sebagian dari ordo Ultisols (Kandiudults, Kanhapludults).

Muatan tanah merah pada umumnya berkorelasi secara positif dengan kandungan karbon organiknya, sehingga menjaga agar kandungan bahan organik tanah tetap tinggi sangat perlu dilakukan pada tanah merah. Penyediaan bahan organik ini dapat dilakukan dengan menggunakan bahan organik sisa-sisa tanaman dalam bentuk mulsa atau pupuk hijau, ataupun menggunakan pupuk kandang dan

kompos. Selain dapat meningkatkan muatan negatif tanah, bahan organik juga dapat memperbaiki struktur tanah. Lapisan atas (horizon A) tanah merah sering mempunyai struktur berbutir lepas, dan bahan organik mampu mengikat butiran tanah menjadi agregat yang lebih mantap.

Tanah merah sering bermasalah dengan tingginya retensi P. Bila pupuk P diberikan, sebagian akan difiksasi oleh tanah dan mungkin hanya sebagian kecil yang tersedia untuk tanaman, sehingga sering dilakukan pemupukan P dalam jumlah banyak agar sebagian P lebih tersedia untuk tanaman. Pemakaian P-alam merupakan alternatif untuk tanah merah yang pHnya masam hingga sangat masam. P-alam akan menyediakan P secara lambat, sehingga tanah merah dengan pH masam hingga sangat masam dapat membantu lebih melarutkan P.

Struktur tanah merah yang remah, gembur memberi dampak yang nyata pada erosibilitas, maka menjaga bahan organik selalu tinggi adalah penting agar tanah terlindung dari erosi. Bahan organik mempunyai peran yang penting dalam memperbaiki sifat fisik tanah merah, karena dapat meningkatkan agregasi tanah, memperbaiki aerasi dan perkolasi dan memperbaiki struktur tanah sehingga tanah menjadi lebih remah dan mudah diolah. Pemberian bahan organik juga dapat mengurangi kebutuhan kapur pertanian, karena sebagian aluminium akan diikat oleh bahan organik (Gill and Adiningsih, 1986).

KESIMPULAN

1. Pada umumnya tanah merah sudah mengalami pelapukan lanjut sehingga mineralnya didominasi oleh mineral liat kaolinit, mineral oksida besi goethit dan hematit serta mineral gipsit, Mineral fraksi pasirnya didominasi oleh kuarsa atau opak atau kombinasi kuarsa dan opak.
2. Horison B tanah merah dapat berupa horizon kambik, argilik, kandik dan oksik, tergantung pada tingkat perkembangan tanah, seiring dengan kenaikan fraksi liat dan nilai kapasitas

tukar kationnya. Dalam klasifikasi tingkat ordo, tanah merah dapat diklasifikasikan sebagai Inceptisols, Alfisols, Ultisols dan Oxisols. Dari keempat ordo tersebut tanah merah Ultisols dan Oxisol mempunyai penyebaran terluas.

3. Tanah merah merupakan salah satu jenis tanah dengan penyebaran yang luas dan belum terkelola dengan baik. Dalam skala besar tanah ini sudah banyak digunakan untuk perkebunan kelapa sawit, karet dan hutan tanaman industri. Pada skala petani pemanfaatan tanah ini umumnya untuk tanaman pangan seperti padi ladang, ketela pohon, jagung dsb yang tergolong belum maksimal pengelolaannya karena terkendala oleh masalah ekonomi.
4. Walaupun tanah merah mempunyai banyak kendala, tanah ini masih merupakan tanah yang potensial, terutama untuk tanaman tahunan yang relatif toleran terhadap kemasaman tanah. Penggunaan untuk tanaman pangan kendalanya lebih berat, selain banyak jenis komoditas tanaman pangan yang tidak toleran terhadap kemasaman tanah dan kejenuhan aluminium, pengelolaan tanah ini memerlukan investasi yang tinggi untuk pemupukan, pengolahan tanah dan pencegahan erosi yang kemungkinan besar kurang terjangkau oleh petani biasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkasuma. 1994. Beberapa sifat kimia tanah seri Sanggauledo (Anionic Acroperox) Kalimantan Barat. Hlm 43-56. *Dalam* Suharta *et al* (Eds.). Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Kalimantan dan Sulawesi. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Allen, B. and B.F. Hajek. 1989. Mineral occurrence in soil environment. Pp 199-278. *In* J.B. Dixon and S. B. Weed (Eds.). Minerals in Soils Environments. 2nd edition. Soil Sci. Soc. of Amer. Wisconsin, USA.

- Asmin, M., Sajafaruddin, dan G. Kartono. 1998. Karakterisasi tanah oxisols dan potensi pengembangan tanaman pangan di Sulawesi Tenggara. Hlm 355-361. *Dalam* Sudaryono *et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komda HITI tahu 1998. Makalah {oster, Buku 2. HITI Komda Jawa Timur.
- Bennema, J. 1967. The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands. *In* J.V. Drew (ed). Selected papers in soil formation and classification. S.S.S.A. Special publication series number 1: 73-82.
- Biro Pusat Statistik. 1987. Statistik Indonesia. Jakarta XVI, Hlm 472.
- Chien, S.H. 1990. Reaction of phosphate rocks with acid soils of the humid tropics. Paper presented at workshop on phosphate sources for acid soils in the humid tropic of Asia, Kuala Lumpur.
- Djaenudin, D., M. Hendrisman, H. Subagjo, dan A. Hidayat. 2003. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian. Balai Penelitian Tanah. Puslitbangtanak. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Driessen, P.M. and M. Soepraptohardjo. 1974. Soils for Agricultural Expansion in Indonesia. Soil Research Institute, Bogor.
- Driessen, P.M., P. Buurman, and P. Sudewo. 1976. The influence of shifting cultivation on a podzolik soil from Central Kalimantan. Bull. 3. Peat and Podzolic Soils and Their Potential for Agriculture in Indonesia. Soil Res. Inst. Bogor
- Eswaran, H. and C. Sys. 1970. An evaluation of the free iron in tropical andesitic soils. *Pedologie* 20:62-65.
- Fauzi, A., J. Dai, dan D. Subardja. 1987. Tanah-tanah merah berbahan induk sedimen pasir di daerah Rembang. Hlm 157-176. *Dalam* U. Kurnia (Ed). Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung 21-23 Februari 1984.
- Fauzi, A., S. Zauyah, dan G. Stoops. 2004. Karakteristik mikromorfologi tanah-tanah vulkanik di daerah Banten. *Jurnal Tanah dan Iklim*, No. 22:1-14.
- Gill, D.W. and J.S. Adiningsih. 1986. Response of upland rice and soybean to potassium fertilization, residue management and green manuring in Sitiung, West Sumatra. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, 6:26-32.
- Hidayat, A. 2002. Mineral lempung dan klasifikasi kategori famili pada Oxisols di Pelaihari, Kalimantan Selatan. *Jurnal Tanah dan Air* 3(1):10-20.
- Prasetyo, B.H., Sulaeman, dan H. Subagjo. 1996. Tanah sawah bukaan baru di daerah Kotabumi, Lampung: karakterisasi dan prospek penggunaan pupuk P-alam. Hlm 131-146. *Dalam* Santoso, D. (Eds.) Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor.
- Prasetyo, B.H., Sulaeman, and N.S. Mulyani. 1997. Red-yellow soils from Kotabumi, Lampung: their characteristics, classification, and utilization. *Indonesian Journal of Crop Science*, 12(1&2):37-45.
- Prasetyo, B.H., B. Kaslan, dan S. Ritung. 1998. Oxisol di daerah Lampung Utara: komposisi mineral, sifat kimia, dan klasifikasinya. *Jurnal Tanah Tropika*, Tahun III (6):153-164.
- Prasetyo, B.H. and N. Suharta. 2004. Properties of Low Activity Clay from South Kalimantan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 22:22-39.
- Prasetyo, B.H., D. Subardja, dan B. Kaslan 2005, Ultisols dari bahan vulkan andesitik di lereng bawah G, Ungaran, *Jurnal Tanah dan Iklim* 23:1-12.
- Prasetyo, B.H. 2006. Evaluasi tanah sawah bukaan baru di daerah Lubuk Linggau, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 8(1):31-43.
- Prasetyo, B.H. 2007. Genesis tanah sawah bukaan baru. Hlm 25-52. *Dalam* Agus *et al.*, (Eds.). Tanah Sawah Bukaan Baru. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Rachim, D., A., Astiana, R. Sutanto, N. Suharta, A. Hidayat, D. Subardja, dan M. Arifin.

1997. Tanah merah terlapuk lanjut serta pengelolaannya di Indonesia. Hlm 97-116. *Dalam* Subagyo *et al.* (Eds.). Prosiding Kongres Nasional VI HITI. Buku I. HITI.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. J. Wiley and Sons, New York. P 618.
- Schulze, D.G. 1989. An Introduction to Soil mineralogy. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Minerals in Soils Environments. 2nd edition. Soil Sci. Soc. of Amer. Wisconsin, USA.
- Schwertmann, U and R.M. Taylor. 1989. Iron Oxides. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Minerals in Soils Environments. 2nd edition. Soil Sci. Soc. of Amer. Wisconsin, USA.
- Soepraptohardjo, M. 1961. Tanah merah di Indonesia. Pemb. Balai Besar Peny. Pertanian 161:1-22.
- Soepraptohardjo, M. and Ismangun, 1980. Classification of red soils in Indonesia by the Soil Research Institute. *In* P. Buurman (ed). Red Soil in Indonesia. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for making and interpreting soil survey. SCS-USDA, Handbook No. 436.
- Soil Survey Staff. 1994. Key to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No 6, fourth edition, Blacksburg, Virginia.
- Soil Survey Staff. 1996. Key to Soil Taxonomy. Seventh Edition. USDA, Natural Resources Conservation Service.
- Soil Survey Staff. 1998. Key to Soil Taxonomy. Eight edition. USDA, Natural Resources Conservation Service.
- Sosiawan, H., N. Suharta, dan B.H. Prasetyo. 2000. Karakteristik tanah pada landform karst dan karstik di Timor Barat, Nusa Tenggara Timur. Hlm 155-168. *Dalam* F. Agus (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Lido, 6-8 Desember 1999.
- Subagyo, H., P. Sudewo, dan B.H. Prasetyo. 1986. Pedogenesis beberapa profil Mediteran Merah dari batukapur di sekitar Tuban, Jawa Timur. Hlm 103-122. *Dalam* U. Kurnia (Eds.). Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung 10-13 Nopember 1981.
- Subagyo, H., B.H. Prasetyo, dan N. Suharta. 1987. Karakterisasi Latosol dari bahan vulkan andesitik G. Burangrang dan sekitar Purwakarta, Jawa. Barat. Hlm 177-208. *Dalam* U. Kurnia (Eds.). Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung 21-23 Februari 1984.
- Subardja, D. 1986. Pedogenesis beberapa profil Podsolik Merah Kuning dari batuan sedimen tufa masam di daerah Lampung. Hlm 83-102. *Dalam* U. Kurnia (Eds.). Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah, Cipayung 10-13 Nopember 1981.
- Suharta, N., M. Soekardi, dan B.H. Prasetyo. 1995. Karakteristik tanah Oxisol sebagai dasar pengelolaan lahan: Studi kasus pada Oxisol di Sanggauledo, Propinsi Kalimantan Barat. Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk 13:9-19.
- Suryani, E., R.E. Subandiono, D. Djaenuddin, dan B.H. Prasetyo. 2000. Karakteristik tanah merah di daerah pantai utara Jawa Timur. Hlm 179-194. *Dalam* F. Agus (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Lido, 6-8 Desember 1999.
- Tardy, Y., G. Bocquier, H. Paquet, and G. Millot. 1973. Formation of clay from granite and its distribution in relation to climate and topography. Geoderma. 10:271-284.
- Tavenier, R. and H. Eswaran. 1973. Basic concepts of weathering and soil genesis in the humid tropic. *In* Proc. 2nd ASEAN Soil Conf. Jakarta.
- Uehara, G. and G. Gillman. 1981. The mineralogy, chemistry, and physics of Tropical soils with variable charge clays. Westview Press/Boulder, Colorado.
- Van Wambeke, A. 1992. Soils of the tropics. Properties and Appraisal. McGraw-Hill Inc. New York. P 343.